

טכנולוגיות מולטי-ספקטרליות לניתוח אלומות לייזר

אורן אהרון, CTO דומא אופטרוניקה

מבוא

השימוש הנרחב של מערכות לייזר בתעשייה בצבא ובחיי היום יום מחדד את הצורך במערכת מדויקת לניתוח אלומות הלייזר. בעולם ובארץ קיים מבחר גדול של מכשירים יעודיים לביצוע המשימה המסוגלים לנתח את האלומה בתחום אורכי גל מוגבל יחסית. לאחרונה בזכות טכנולוגיה יחודית שפותחה בארץ על ידי חברת דומא אופטרוניקה ניתן לבצע מדידות של לייזרים בתחום אורכי גל נרחב באמצעות נתח אלומה יחיד.

ההתקדמות הטכנולוגית התאפשרה על ידי שיפור בטכנולוגיה הגלאי וכן שיפור ניכר בעיבוד האות האנלוגי והדיגיטלי במערכת. השימוש הנרחב של הלייזרים והמגמות של גילוי לייזרים ביותר ויותר אורכי גלים יוצרים את הצורך למערכת מדידה בתחום רחב של אורכי גלים.

רוב השימושים של הלייזרים נעים באורכי גלים שבין 0.2 מיקרון ל-1.6 מיקרון, דוגמאות בולטות הן סיבים אופטיים באורך גל 1350 ו-1550 ננומטר, עיבוד מתכות בסביבות ה-1000 ננומטר, שימושים בתחום הנראה כגון בלו-ריי, שימושים בתחום הרפואי באורכי גל שונים, וכן בתחום הצבאי באורכי גל שבין 1060-1550 ננומטר.

כאשר משתמשים באורכי גלים בתחום ה-IR מקובל להוסיף לייזר במקביל בתחום הנראה לצורך זיהוי נקודת הפגיעה. הדבר מקובל גם בתחום של לייזרים לניתוחי עיניים, לייזרים להסרת שיער, מדפסות לייזר שעובדות בשני תחומים וכן שימושים רבים אחרים. על כן, קיים צורך לספק מערכת מדידה אחת המסוגלת למדוד בתחום רחב של אורכי גל ובנוסף מסוגלת למדוד בעת ובעונה אחת שני אורכי גל.

כיום מקובלת טכנולוגיה אשר מאפשרת מדידה בתחומים ספציפיים של אורכי גל כגון: תחום ה-UV, התחום הנראה ותחום ה-IR מעל 1000 ננומטר. מערכות מדידה של מעל 1000 ננומטר הן יקרות מאוד בשל השימוש בגלאים מסוג Ingas.

רבות מהשאלות של איכות הלייזר והקושי במדידתו נובעות מהעובדה שההתפלגות המרחבית של העוצמה ורוחבה של קרן הלייזר, משתנות לאורך מסלול ההתקדמות שינוי רציף כפונקציה של המרחק, ההתבדרות, האינטראקציה עם אלמנטים אופטיים ותכונות הדרייבר האלקטרוני של הלייזר. על כן, חשובה היכולת של מדידה מדויקת לאורך מסלול ההתקדמות בתחום רחב של אורכי גלים, וכאתגר מיוחד כאשר

שני לייזרים בעלי אורכי גלים מתחומים שונים משודרים יחד, ומכאן חשיבות הפיתרון הטכנולוגי של Wide Spectral Range (WSR).

טכנולוגיה

הטכנולוגיה מאופיינת על ידי גלאי ייחודי הקרוב לטכנולוגיית ה-C-MOS בעל רזולוציה גבוהה והוא מוצע בשתי קונפיגורציות; האחת עם תקשורת USB 2.0 ורזולוציה של 720x576 עם גודל גלאי 6.47x4.83 מ"מ, והשנייה עם תקשורת USB 3.0, רזולוציה 1920x1200 עם גודל גלאי 11.34x7.13.

למיטב ידיעתנו, אין כיום טכנולוגיות מתחרות בתחום ה-IR (1100-1600) ננומטר המסוגלות להציע ביצועים דומים ברזולוציה ובגודל גלאי. גודל הגלאי למעשה מכתיב את גודל הקרן המקסימלי אותו ניתן למדוד, בעוד שהרזולוציה מכתיבה את הגודל המינימלי של הכתם, שכן נדרשים כ-400 פיקסלים שיכסו את הכתם על מנת לקבל תוצאות טובות.

על מנת להגדיל את אוניברסליות המכשיר, תוכנן דוגם אלומה אופטי, שכאשר מותקן מאפשר מדידה של קרני לייזר המשמשות לעיבוד מתכות ובעוצמה של מספר קילו-

וואט. בנוסף, מצוייד המכשיר בגלגל פילטרים אוטומטי המתכוון לרמות העוצמה ובוחר אוטומטית את הפילטר המתאים לצורכי ההנחתה.

טכנולוגית דגימת קרן הלייזר (Beam Sampling Technology)

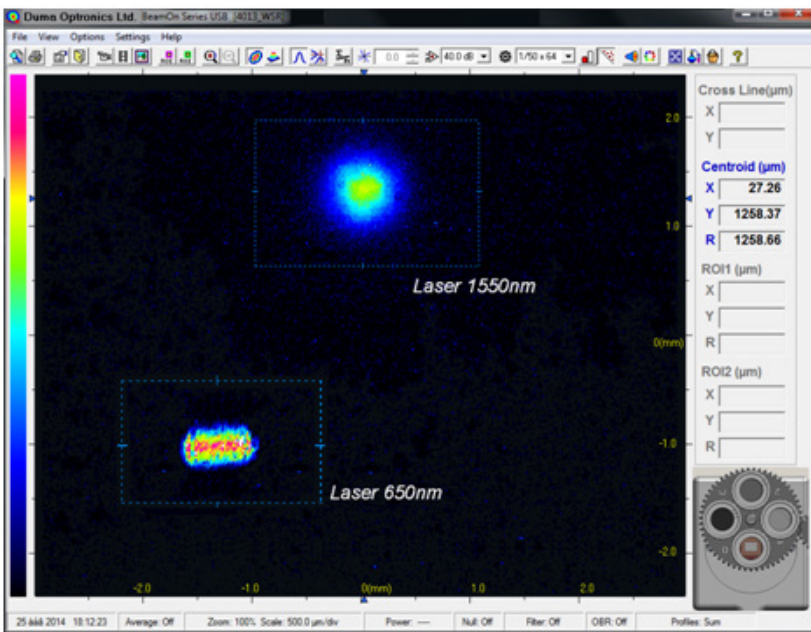
על מנת לאפשר מדידה של קרניים בעוצמות גבוהות, פותח דוגם אלומה רפלקטיבי המאפשר הנחתה ניכרת בעוצמת הלייזר הנבדק. כאשר נדגמת, הקרן הנה העתק מדוייק של הקרן המקורית אך בעוצמה מופחתת. הנמכת עוצמה היא בערך ב-3 סדרי גודל בהשוואה לקרן המקורית. לדוגם הקרן יש 3 יציאות- אחת לכניסה, אחת לקרן הנדגמת ואחת לקרן המרכזית הממשיכה בדרכה אך מוסתת בזווית. הקרן הנדגמת מכוונת לכיוון ה-BeamOn WSR והקרן המרכזית נבלעת בהמשך על ידי Beam dump המהווה תת-מכלול הניתן להוספה. הדגימה עצמה מבוצעת על ידי החזרה כפולה בתוך דוגם האלומה, כל החזרה דוגמת כ-4% מהקרן כך שביציאה הקרן מונחתת בקירוב לכ-1/1000 מהקרן המקורית. מכאן שקרן שנכנסת למערכת בעוצמתה קילו-וואטים ניתנת להנחתה לכדי מילי-וואטים בודדים באמצעות דוגם האלומה ופילטרים אופטיים רגילים. עוצמה של מילי-וואטים ניתנת אז למדידה ישירה באמצעות דוגם האלומה. יש לציין שהמערכת הסטנדרטית, רגישותה בתחום 1550 ננומטר- גבוהה מהרגישות של המערכת בעלת הרזולוציה הגבוהה. המדידות האופייניות שניתן לבצע באמצעות טכניקה המתבססת על גלאי מטריציוני ברזולוציה יחסית גבוהה הן:

- רכישת פרופיל של אלומה ב-2-D והפיכתו לתמונה תלת מימדית המייצגת את עוצמת הקרינה בכל נקודה ונקודה בחתך מסויים של הקרן.
- תוכנה ייעודית מחשבת בזמן אמת את הפרמטרים הקריטיים של הקרן כגון- גודלה, עוצמתה, מיקום על גבי הגלאי, ואימות צורת הקרן מול תקנים שונים.
- רכישה מקבילית של מספר קרניים באורכי גל שונים כמוצג בצילום המסך.
- חישוב המרחק בין הקרניים.
- יכולת מדידה של קרניים רציפות CW, או PULSED.



איור 2. מערכת בעלת רזולוציה תקנית ותקשורת USB 2.0

איור 1. מערכת בעלת רזולוציה גבוהה ותקשורת USB 3.0



איור 3. מדידה מקבילית של קרן 1550 ננומטר וקרן 650 ננומטר

בדוגמי אלומה מאפשר ביצוע מדידות נוספות של מספר קרניים במקביל תוך חישוב התבדרות האלומה ומידת הסטייה הזוויתית של הקרן הנכנסת יחסית לציר האופטי של המערכת. חידוש זה, כפי שהוא מופיע בתמונה המצורפת, מראה טלסקופ באורך מוקד של כ-600 מ"מ המצוייד במפתח ענק של כ-100 מ"מ. הטלסקופ עצמו ניתן לכיוון

- יכולת נעילה באמצעות Trigger.
- רגישות מ-200 ל-1600 ננומטר.

טכנולוגית מדידת התבדרות אלומה באמצעות דוגם קרן טלסקופי

שילוב טלסקופים אופטיים המצויידים



איור 4. טלסקופ לניתוח של התבדרות ומיקום זווית קרני לייזר בעל מפתח של 100 מ"מ

עם עוצמות של קילו-וואטים ועד ננו-וואטים. טכנולוגיה זו, מעצם יכולותיה, משמשת כטכנולוגיה חוצת גבולות מבחינת אורכי גלים ועל פני גוון רחב של תעשיות ושימושים - צבאיים, תקשורתיים ותעשייתיים.

אורך המוקד של הטלסקופ, λ היא אורך הגל של הלייזר, ו-D הינו קוטר האלומה של הלייזר הנכנס. כמוכן, שבמקרה והאלומה אינה Collimated, בהתאם לחוקי Diffraction Limited - אזי צפוי לקבל כתם על גבי מישור פורייה הגדול מערך זה.

סיכום

לסיכום, במאמר זה דנו בנתח אלומה לייזרי אשר רוכש, מציג ומנתח את עוצמת הפרופיל המרחבי של אלומת לייזר בחתך הניצב לכיוון ההתקדמות של הלייזר. הוספת טלסקופ למערכת מאפשר ניתוח ומציאת זווית ההתבדרות של אלומת הלייזר הנכנסת למפתח הטלסקופ וכן את כיוונה במרחב. בנוסף, בניגוד למצב הקיים היום לסוגי הלייזר השונים כגון: UV, VIS, IR, , גל רציף, פולסי, High Power ונגזרות שונות, נדרשים מבחר של נתחים שונים, כל אחד לתחומו הוא, הרי שכאן הצגנו מערכת אחת מולטיספקטרלית המחליפה מספר Beam Profilers המסוגלת להתמודד

באמצעות ברגים מיקרומטרים סיבסובו עילרוד לצורך כיוון מדוייק. בשל אורך המוקד, המערכת מגיעה לרזולוציות של 1 מיקרורדיאן במיקום ויציבות הקרן. על מנת לאפשר קריאה נכונה של עוצמות שונות, המערכת מצוידת בסרגל פילטרים מגנטי המאפשר הנחתה של הלייזר על מנת להביאו לתחום העבודה של ה-Beam Profiler. במקרה זה, בשל האופטיקה הרפרקטיבית, המערכת רגישה לאורך הגל ויש צורך לכוון את הטלסקופ עבור אורך גל מסויים. פיתוחים עתידיים יאפשרו מדידות על תחום רחב של אורכי גל על ידי בניית טלסקופ רפלקטיבי. מישור המוקד שבו נמצאת המצלמה נקרא Fourier Plane ומדמה כיצד תיראה קרן למישהו שמסתכל אליה מאינסוף. מאחר ובמישור זה הקרן מפקסת וגודלה יחסית ישר לאורך המוקד של הטלסקופ, נדרש טלסקופ בעל אורך מוקד ארוך על מנת לייצר כתם שיתפרס על מספר פיקסלים (כ-10). לייחוס, ניתן להניח שגודל הכתם על פני המישור המדובר מתנהג בהתאם ל- (λ/F^*) , כאשר F הוא